干旱区地理
ARID LAND GEOGRAPHY

1966—2018年河西走廊春季寒潮频次及影响因子分析

吕青松， 辛存林， 王 瑞， 张 勃， 张 华
（西北师范大学地理与环境科学学院，甘肃 兰州 730070）

摘 要： 基于甘肃河西走廊15个国家基准基本站点提供的1966年1月1日～2018年12月31日春季(3～5月)逐日最低气温值数据，利用线性回归分析方法、Spline空间插值法和Mann-Kendall趋势和突变检验法，探讨了河西走廊地区1966—2018年春季(3～5月)寒潮频次变化及其影响因子。研究表明：(1) 1966—2018年河西走廊地区春季(3～5月)单站寒潮频次总体呈现下降趋势〔−0.098次·(10 a)$^{-1}$〕，其中1980—2010年寒潮频次呈显著下降趋势，2010年之后下降趋势变缓，未通过显著性检验；区域寒潮53 a来频次总体呈缓慢下降趋势〔−0.015次·(10 a)$^{-1}$〕。(2) 近53 a河西走廊地区春季三个月中，单站寒潮总量4月＞3月＞5月，其中4月、5月寒潮频次下降不明显，3月频次下降显著。(3) 空间上，大致以北大河和黑河干流为界，两河中间区域春季寒潮频次低，而北大河以北和黑河干流以东区域则是寒潮高值区，走廊外围地区寒潮频次较高，且大多呈显著下降趋势，寒潮频次与气温距平存在明显负相关关系，内部地区变化趋势不明显。(4) 河西地区春季寒潮频次受气候变暖、地形和大气环流的影响，寒潮频次变化趋势存在地区差异。研究可提高对甘肃河西走廊寒潮演化过程的认知，为河西走廊气候变化的进一步研究奠定基础。

关 键 词： 河西走廊；寒潮；频次变化；影响因子
文章编号： 1000－6060(2020)04－0946－09(0946～0954)

极端气候事件是指某类气候要素值显著偏离其平均状态、达到或超过统计区间上下界限阈值的特定事件[1]。与平均气候状态相比，极端气候的出现更具偶然性、突发性，对气候变化的响应也更为敏感[2]，并对自然生态环境与人类社会产生广泛而深刻的影响[3]。寒潮作为主要极端气候事件之一对区域工农业生产和人民生活会带来极大危害与不便，因此受到广泛关注。依据《中华人民共和国国家标准》中《寒潮等级》(GB/T21987-2008)及《冷空气等级》(GB/T20484-2006)中规定，将单站寒潮定义为：某地的日最低(或日平均)气温在24 h内降温幅度≥8 ℃，或在48 h内降温幅度≥10 ℃，或在72 h内降温幅度≥12 ℃，致使该地区日最低气温≤4 ℃的冷空气活动。区域寒潮是指在一次寒潮事件中，区域内超过40%的气象站点均发生寒潮，即为一次区域寒潮[4]。

随着全球气候变化加剧，世界极端气候事件呈现出高发态势，对人类生存环境的影响日益显著，成为当前研究的热门问题。寒潮作为冬半年最主要极端气象灾害，对天气系统的影响尤为显著[5-7]，近年来受到越来越多的关注。早在1951年我国李宪之就对东亚寒潮发生过程进行了研究[8]，并将寒潮分为三类；随后，陶诗言在1957年对影响我国大陆的冷空气源地与路径进行了研究[9]；余洋[10]在2018年对东亚寒潮南下路径进行了深入研究，认为冷空气主要受位于蒙古国境内的横槽阻挡，在贝加

收稿日期： 2019－11－06； **修订日期：** 2020－03－21
基金项目： 国家自然科学基金项目(41262001)；国家重点研发项目(2016YFC0502302)资助
作者简介： 吕青松(1998－)，男，四川梁平人，硕士研究生，研究方向为自然资源与环境变化. E-mail：2394943887@qq.com
通讯作者： 辛存林(1967－)，男，甘肃秦安人，教授，博士，硕士研究生导师，研究方向为自然资源与环境变化等.
E-mail：xincunling@163.com

尔湖附近堆积，横槽转竖后冷空气迅速南下，影响我国；丁一汇、张培忠等[11-12]在1999年对冷空气路径进行了更深入研究和证实，把路径划为三条，第1条从斯堪的纳维亚半岛南下至欧洲中部，汇合西来高压再向东北移动，第2条从新地岛南下，与黑海高压路径在50°N，80°～90°E处汇合并向东移动，第3条从太梅尔半岛南下，与前述路径在50°N，100°E处汇合；王遵娅等[13]在2006年对中国寒潮的时空变化进行了深入研究，认为全国范围内区域寒潮频次均在减少，北方地区尤为显著，蒙古——西伯利亚高压和东亚冬季风强度的减弱是导致我国寒潮频次减少的可能原因之一。

气候预估研究表明，2011年以后11 a极端高温天数偏少，极端低温天数偏多[14-15]，预示河西走廊至2022年左右寒潮发生频率可能加大。河西走廊作为我国商品粮基地之一和重要生态屏障，同时也是寒潮冷气团南下的主要路径之一，受寒潮影响大，寒潮尤其是春季寒潮对河西走廊农牧业危害极大[16]，但目前关于河西走廊春季寒潮发生频率及影响因素的研究较少。因此，本文利用1966—2018年河西走廊春季气温资料，运用线性回归分析方法和Mann-Kendall分析法，对河西走廊春季寒潮发生频率及影响因子进行分析，以期可以对河西走廊地区相关防灾减灾工作提供指导。

1 数据与方法

1.1 研究区概况

甘肃省河西走廊位于35°36′～45°19′N，85°02′～114°25′E之间，东西长约1 000 km，南北宽约50～100 km，面积2.15×10^5 km^2，约占全省面积的60%[17]，行政区域包括武威、金昌、张掖、酒泉和嘉峪关5个地级市以及白银市景泰县的部分地区[18]。

该区域地势总体南高北低，南部为祁连山脉，中部为走廊地带，地势平坦，东部、北部有零散山地，区内地形复杂，沙漠、戈壁广布，主要地貌类型为大型山前洪积扇和冲击平原[19]；全区属于温带大陆性气候区，受西风带控制，盛行下沉气流，气候干旱，日照时间较长[20]；区域内河流均为内流河且大多为季节性河流，年径流量在1×10^8 m^{3}以上的河流有15条，地表组成物质透水性高，径流深度小，河流含沙量大，水量补给以大气降水为主；地表植被覆盖率低，多为耐旱的深根、灌木或小灌木[21]，植被多以沙拐枣、骆驼刺、红柳为代表。

1.2 数据来源

由于最低气温能够较好地反映降温的相对幅度[22]，因此，本文研究数据来源于甘肃河西走廊15个国家基准基本站点（图1）提供的1966年1月1日～2018年12月31日春季（3～5月）逐日最低气温值数据（其中梧桐沟、金塔站数据分别为1966—1988年、1989—2018年），从统计意义上说，这样长的时间序列对研究区域具有较为可靠的研究结果。

1.3 研究方法

1.3.1 Mann-kendall检验分析法

Mann-kendall检验分析法作为一种对气温、降水、水文水质各种

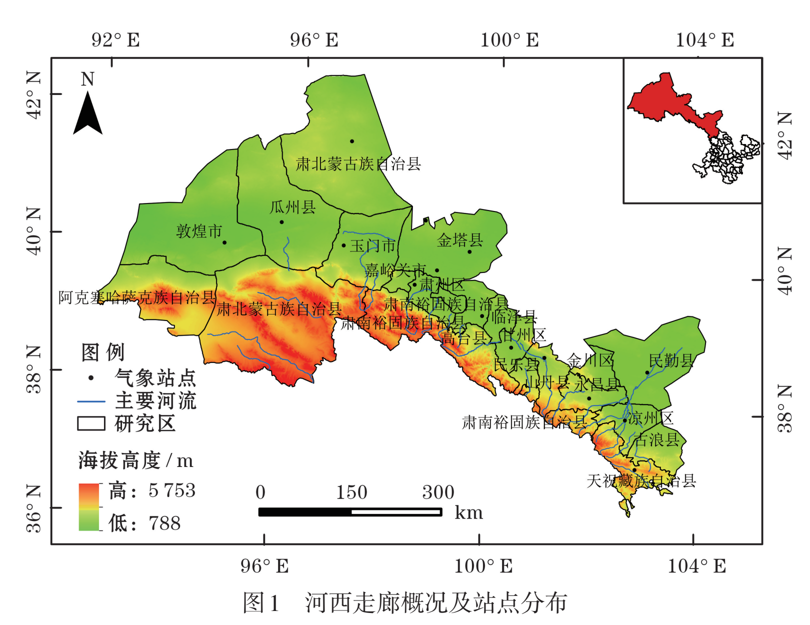


图1　河西走廊概况及站点分布

Fig. 1　General situation of Hexi Corridor and its site distribution

气象要素时间序列的长期变化趋势预测的非参数统计检验方法,变量不一定具有正态分布特征,少数异常值也对其不产生影响,所以能被运用于气象要素、水文变量等非正态分布的趋势分析中,其计算过程简便,检测范围广、定量化程度高[23]。符艳红等[24]在研究嘉陵江流域近55 a降水量时空分布规律时使用到这一方法,并对此方法原理进行了详细阐述。

1.3.2 寒潮频次统计标准 单站寒潮频次的统计方法为:区域内各气象站点在一个年代际内发生的寒潮次数的总和,与站点数的比值。计算方法为:

$$S = \frac{\sum_{i=1}^{15} X_i}{15} \tag{1}$$

区域寒潮频次的统计方法为:区域内超过40%的气象站点均发生寒潮,即为一次区域寒潮,并在一个年代际内求出总和。计算方法为:

$$T = \sum_{j=1}^{10} Y_j \tag{2}$$

式中:S为单站寒潮频次(次); X_i 为第i个气象站点在一个年代际内的寒潮总数(次);T为区域寒潮频次(次);Y_j为第j个年份中的区域寒潮次数(次)。

2 结果与分析

2.1 河西地区春季寒潮年代际变化

1966—2018年河西地区春季单站寒潮总体变化表现为(表1):20世纪70年代单站寒潮频次最高,为15.82次,1966—1969年春季单站寒潮为6.36次,80年代单站寒潮频次出现"低谷",寒潮频次远低于其他时期,仅为9.87次,20世纪90年代—21世纪10年代单站寒潮频次相比20世纪80年代有较大幅度上升,但频次仍大幅低于20世纪70年代,平均为12.21次,整体呈下降趋势,这与河西地区80年代中后期之后极端低温天数呈大幅度波状减少趋势,极端低温天气发生频率较低研究一致[25]。区域寒潮频次除20世纪80年代为6次外,70年代至21世纪10年代,年代际频次变化不明显,70年代和90年代均为10次,00年代和10年代均为9次,但5月出现的区域寒潮时间有提前趋势,是一种气候变暖状态的间接反映(表2)。

表1 1966—2018年河西地区春季单站寒潮频次年代际变化

Tab. 1 Interdecadal variations of single-station cold wave in spring in Hexi region from 1966 to 2018

年代	单站寒潮次数	年代	单站寒潮次数
1966—1969年	6.36	1990—1999年	12.65
1970—1979年	15.82	2000—2009年	12.13
1980—1989年	9.87	2010—2018年	11.86

表2 1966—2018年河西地区春季区域寒潮频次年代际变化

Tab. 2 Interdecadal variations of the frequency of egional cold waves in spring in Hexi region from 1966 to 2018

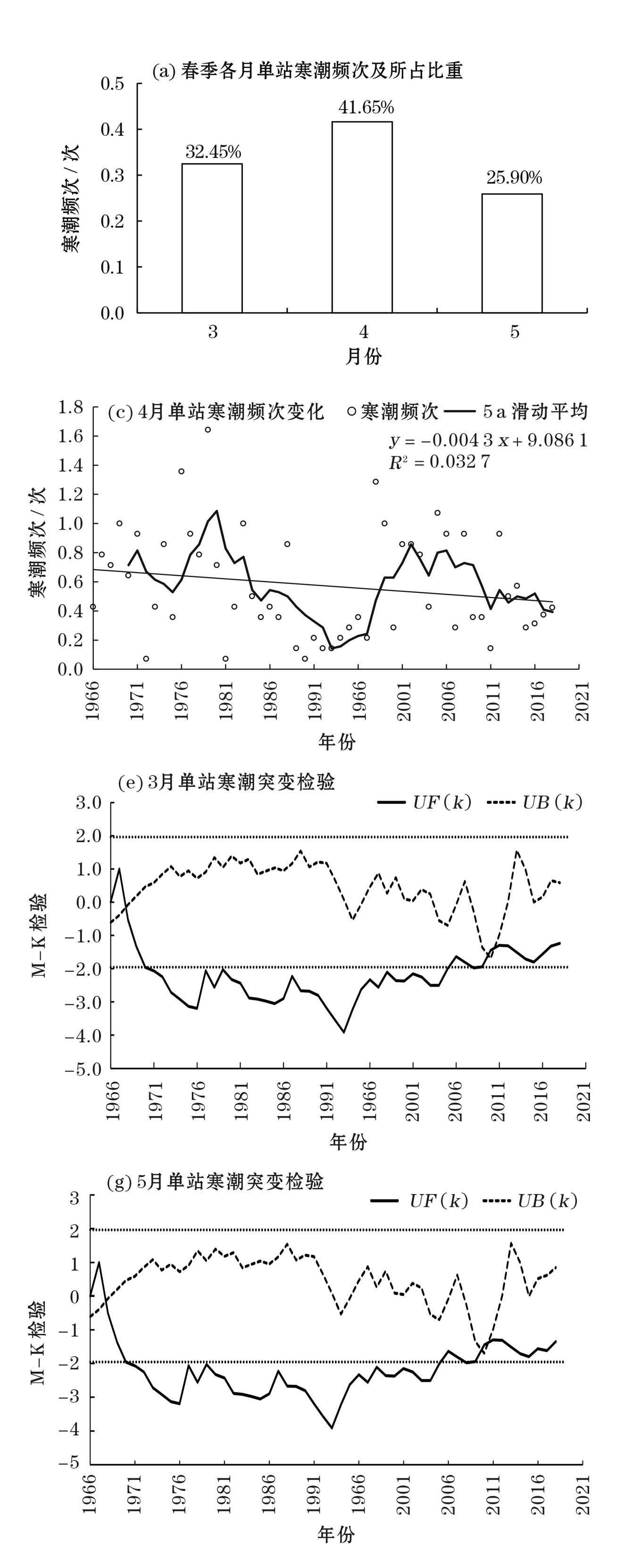
年代	区域寒潮次数	最早	最迟
1966—1969年	5	3月2日	5月26日
1970—1979年	10	3月21日	5月12日
1980—1989年	6	3月12日	5月11日
1990—1999年	10	3月10日	5月4日
2000—2009年	9	3月7日	5月11日
2010—2018年	9	3月8日	5月12日

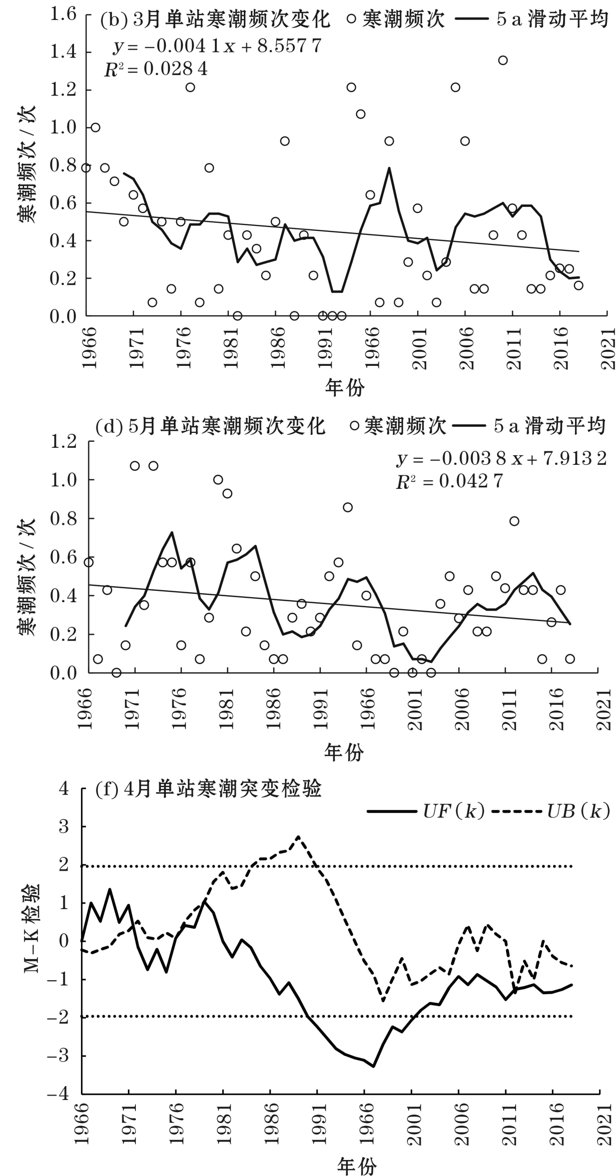
2.2 河西地区春季各月寒潮频次变化

近53 a春季3个月中,3月单站寒潮频次为0.46次·a^{-1},其总量占春季单站寒潮总量的32.45%,4月单站寒潮频次为0.59次·a^{-1},其总量占春季单站寒潮总量的41.65%,5月单站寒潮频次为0.38次·a^{-1},其总量占春季单站寒潮总量的25.90%(图2a)。其中,3月单站寒潮频次呈下降趋势,速率为-0.037次·a^{-1}(图2b),通过显著性检验,认定其下降趋势明显,其中1967年和2010年为突变年份(图2e);4月单站寒潮频次呈下降趋势,速率为-0.04次·a^{-1}(图2c),未通过显著性检验,其下降趋势不明显,寒潮频次较为稳定,极端年份较少,1966、1972、1977、1979年和2013年为突变年份(图2f);5月单站寒潮频次呈下降趋势,速率为-0.038次·a^{-1}(图2d),未通过显著性检验,趋势并不明显,1968、2009年和2011年为突变年份(图2g)。

2.3 河西地区春季寒潮年际变化

1966—2018年河西地区春季(3~5月)单站寒潮频次总体呈下降趋势(图3a),下降速率为-0.098次·$(10\ a)^{-1}$,并且通过了0.05显著性检验($\alpha=0.05$)(图3b),表明其下降趋势是明显的,1972、1973、1978、1980年为寒潮频次发生突变的年份。另外,通过进一步研究2 d寒潮(图3d)和3 d寒潮(图3e),得出如下结论:(1) 2 d寒潮近53 a来呈下降趋势,降速为-0.058次·$(10\ a)^{-1}$,通过了0.05显著性检验





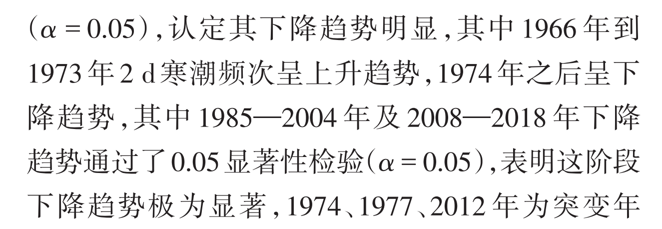
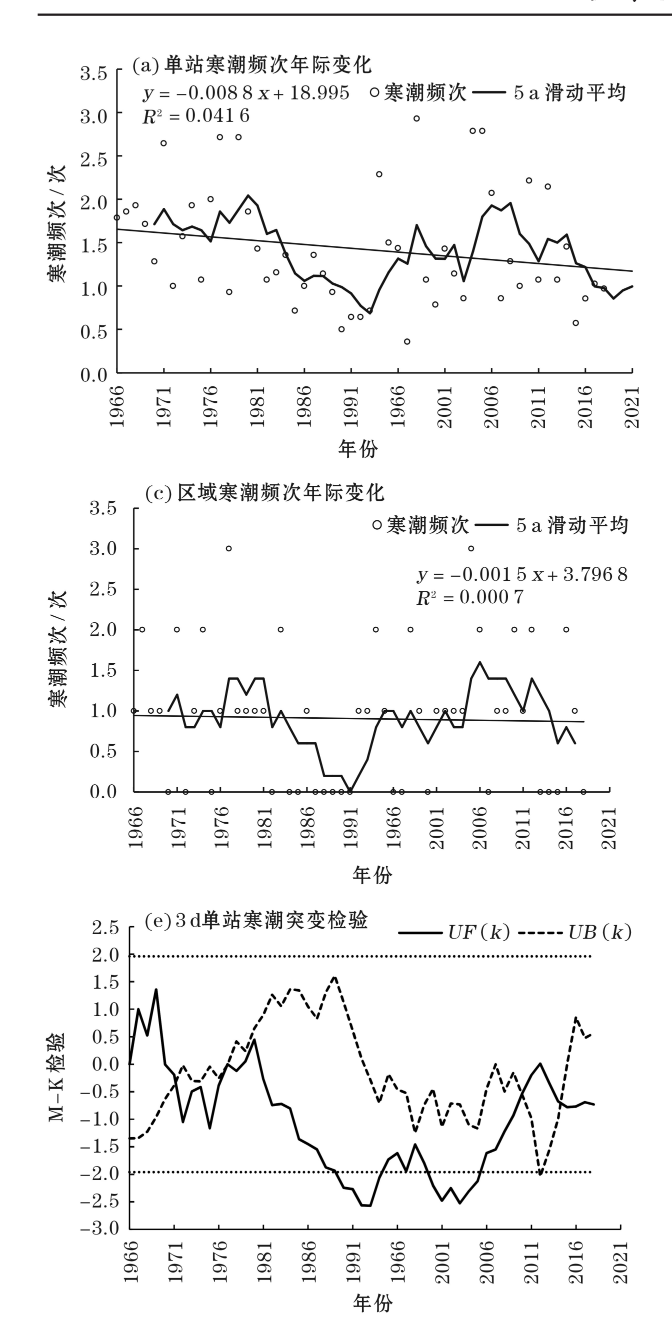
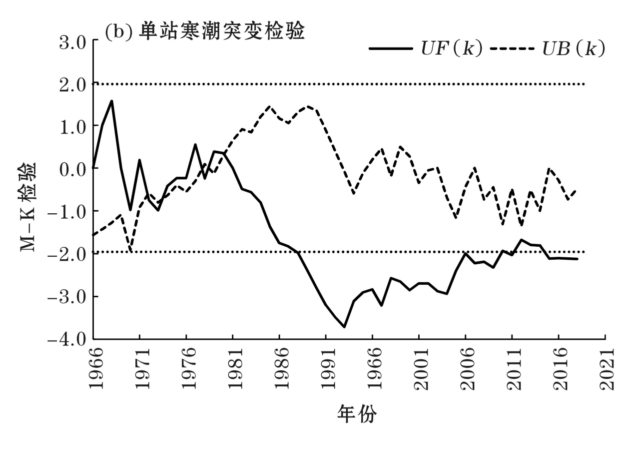


图2 1966—2018河西地区春季各月单站寒潮频次及突变检验

Fig. 2 Frequency and mutation test of cold wave of single station in spring in Hexi area from 1966 to 2018

($\alpha = 0.05$),认定其下降趋势明显,其中1966年到1973年2 d寒潮频次呈上升趋势,1974年之后呈下降趋势,其中1985—2004年及2008—2018年下降趋势通过了0.05显著性检验($\alpha = 0.05$),表明这阶段下降趋势极为显著,1974、1977、2012年为突变年份。(2) 3 d寒潮近53 a来呈上升趋势,速率为0.006次·(10 a)$^{-1}$,未通过显著性检验,表明其上升趋势不明显,1971、1977、2010、2015年为突变年份。区域寒潮共计48次,近53 a来频次总体呈下降趋势,降速为−0.015次·(10 a)$^{-1}$,未通过显著性检验,下降





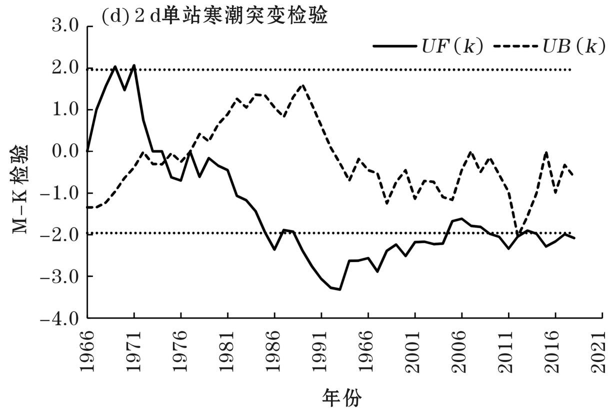


图3　1966—2018河西地区寒潮频次变化及突变检验

Fig. 3　Frequency change and mutation test of cold wave in Hexi area from 1966 to 2018

趋势不明显(图3c)。

2.4　寒潮空间分布特点及区域差异

2.4.1　河西地区春季单站寒潮空间分布特点　由图4a可以看出,河西地区春季53 a内单站寒潮空间分布上呈现南北两端次数较多,中间地区次数较少的态势,即酒泉市、武威市和金昌市大部分区域寒潮频次较高,最高值出现在肃北县马鬃山站附近,这三大区域仅在酒泉肃州区和金塔县南部地区寒潮频次较低,中部张掖地区寒潮频次整体偏低,低值中心在张掖市高台县附近,大致以北大河和黑河干流为界,两河中间区域寒潮频次低,而北大河以北和黑河干流以东区域则是寒潮高值区,这可能与寒潮路径有关。

2.4.2　河西地区春季单站寒潮区域差异　河西地区春季寒潮近53 a空间变化存在明显空间差异,由图4b可以看出,河西地区外围区域站点敦煌、马鬃山、金塔、鼎新镇、山丹、民勤站呈显著下降趋势,而被这些外围站点呈“半环状”包围的走廊中部站点变化趋势不明显;由图4a和图4b也可明显发现:(1)河西地区春季寒潮变化趋势显著的地区均为下降趋势。(2)寒潮高值区和寒潮频次显著下降区重合度较高,寒潮频次较高的区域下降频次也较多。

2.5　寒潮影响因素

2.5.1　气候变暖　河西地区最低气温的天数近

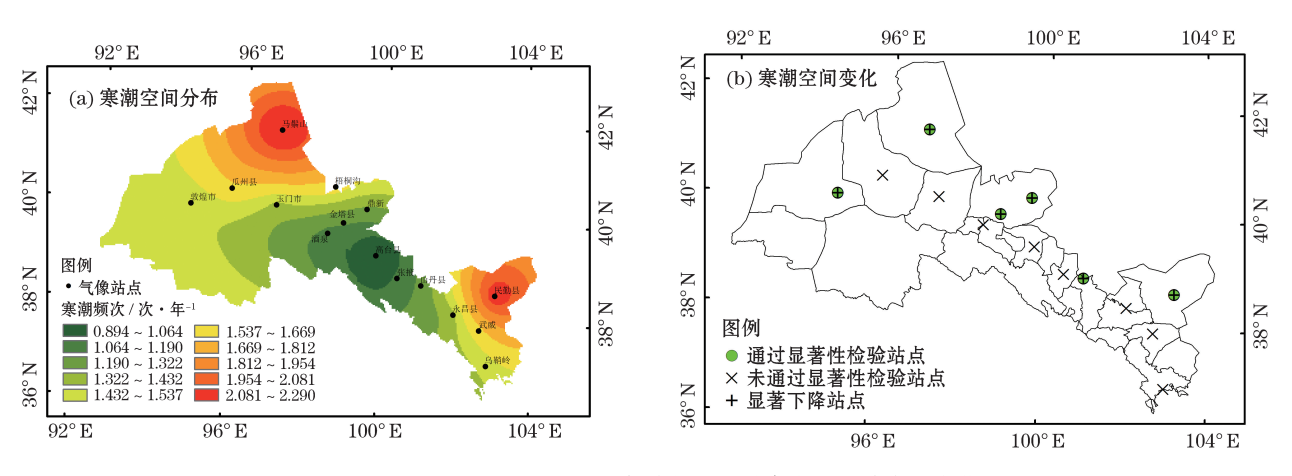


图4　1966—2018河西地区春季(3～5月)寒潮空间分布及变化

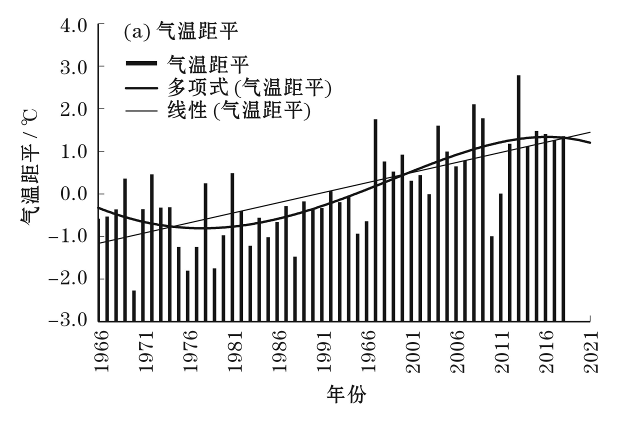
Fig. 4　Spatial distribution(a) and change(b) of cold wave in spring (March to May) in Hexi region from 1966 to 2018

53 a有减少的趋势,其中,寒潮频次在1991—2005年呈增加趋势,之后又呈减少趋势。表明河西地区暖冬事件不断增加,冬季均温在升高;而近53 a来,河西地区四季起始日总体变化趋势为:春、夏、秋三季起始日提早,冬季起始日推迟。春季开始日有提早趋势,其变化倾向率为 $-1.06\ \mathrm{d}\cdot(10\ \mathrm{a})^{-1}$ ($\alpha=0.01$),河西地区春季逐渐提前,春季均温53 a来逐渐升高及冬季的增暖趋势表明气候在变暖,这与寒潮频次减少同步,表明两者存在相关关系。

为了进一步研究气候变暖与寒潮的关系,绘制出河西地区春季寒潮(3～5月)气温距平和寒潮频次年际变化曲线图(图5)。由图5可以看出,线性趋势和多项式均表明二者有很好的反位相对应关系,气温偏高时寒潮出现次数较低,气温偏低时寒潮出现次数较高,这说明寒潮的出现与同期气温之间有十分密切的联系[26]。气温在1975年发生了突变,几乎与此同时,寒潮频次在1978年发生了突变,1978年以后,随着气温的升高,寒潮频次在降低,这再次表明,气候变暖是导致寒潮频次减少的重要原因之一。

2.5.2　地形影响　地形对区域水热条件具有再分配的作用,并能够对入侵冷空气起到阻挡和分流作用。来自蒙古——西伯利亚的冷空气遇到北山山系阻挡,爬坡速度缓慢,造成冷空气的滞留,从而在山前形成寒潮高频区,在马鬃山和乌鞘岭地区就形成寒潮高值区,而民勤地区由于南下冷空气遇北东走向的贺兰山阻挡,一部分分流进入民勤,导致该地区寒潮频次较多。

2.5.3　大气环流影响　河西走廊发生区域寒潮时,亚洲500 hPa环流场呈"一脊一槽"型分布,脊区位于乌拉尔山一带,存在显著正变高中心;槽区呈东北——西南走向,位于贝加尔湖——新疆东部一带,且在此存在显著负变高中心。河西走廊处于脊前西北气流控制带上,3～5月为乌拉尔山脊发展强



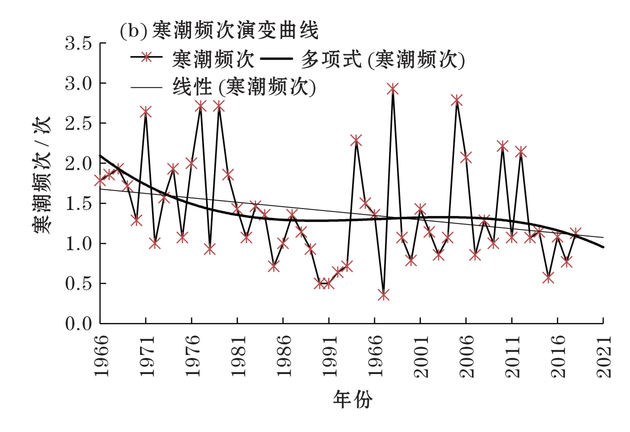


图5　春季(3～5月)气温距平与寒潮频次演变曲线

Fig. 5　Evolution curve of temperature anomalies and cold wave frequency in spring(March to May)

盛期，其引导脊前高纬度地区冷空气向低槽区汇集，促使新疆东部低槽发展[27]，造成冷空气东灌进入河西走廊地区，致使寒潮过程出现。此外，河西走廊寒潮活动还受到亚洲极涡的影响，亚洲极涡在冬季形成后，极涡中心不断向南移动至西伯利亚北部，在此形成高压系统，冷空气从西伯利亚南下，影响我国新疆及河西走廊地区大气环流，形成大范围的持续低温，致使寒潮形成。

3 结 论

(1) 1966—2018年河西走廊地区春季(3～5月)单站寒潮频次总体呈下降趋势，下降速率为−0.098次·(10 a)$^{-1}$，1980—2010年寒潮频次呈显著下降趋势，2010年之后下降趋势变缓，未通过显著性检验；区域寒潮53 a来频次总体呈缓慢下降趋势，降速为−0.015次·(10 a)$^{-1}$，未通过显著性检验。

(2) 近53 a河西走廊地区春季三个月中，3月单站寒潮频次为0.46次·a^{-1}，4月单站寒潮频次为0.59次·a^{-1}，其总量占春季单站寒潮总量最大，5月单站寒潮频次为0.38次·a^{-1}，其总量占春季单站寒潮最小，其中4、5月寒潮频次下降趋势未通过显著性检验，3月频次下降显著。

(3) 空间上，大致以北大河和黑河干流为界，两河中间区域春季寒潮频次较低，而北大河以北和黑河干流以东区域则是寒潮高值区，寒潮频次变化存在明显空间差异，走廊外围地区大多呈显著下降趋势，呈半环状；而内部地区变化趋势不明显。

(4) 从气温距平与寒潮频次存在明显负相关关系，随气候变暖寒潮次数在减少等分析中，可以看出河西走廊地区春季寒潮频次受气候变暖、地形和大气环流的影响，使得其变化趋势和空间分布存在差异。

参考文献(References)

[1] 郑景云，郝志新，方修琦，等. 中国过去2000年极端气候事件变化的若干特征[J]. 地理科学进展，2014，33(1)：3－12. [ZHENG Jingyun, HAO Zhixin, FANG Xiuqi, et al. Changing characteristics of extreme climate eventsduring past 2000 years in China[J]. Progress in Geography, 2014, 33(1): 3－12.]

[2] 崔林丽，史军，周伟东，等. 上海极端气温变化特征及其对城市化的响应[J].地理科学，2009，29(1)：93－97.[CUI Linli, SHI Jun, ZHOU Weidong, et al. Characteristics of extreme temperature variations and their tesponse to urbanization in Shanghai [J]. Scientia Geographica Sinica, 2009, 29(1): 93－97.]

[3] EASTERLING D R, MEEHL G A, PARMESAN C, et al. Climate extremes: Observations, modeling, and impacts[J]. Science, 2000, 289(5487): 2068－2074.

[4] 刘宪锋，朱秀芳，潘耀忠，等. 近53年内蒙古寒潮时空变化特征及其影响因素[J].地理学报，2014，69(7)：1013－1024.[LIU Xianfeng, ZHU Xiufang, PAN Yaozhong, et al. The spatial-temporal changes of cold surge in Inner Mongolia during recent 53 years[J]. Acta Geographica Sinica, 2014, 69(7): 1013－1024.]

[5] 张亚茹，陈永金，刘永芳，等. 沙尘影响下华北地区一次重污染天气形成与消散过程分析[J].干旱区地理，2018，41(6)：1241－1250.[ZHANG Yaru, CHEN Yongjin, LIU Yongfang, et al. Formation and dissipation processes of a severe atmospheric pollution in north China under the influence of dust[J]. Arid Land Geography, 2018, 41(6): 1241－1250.]

[6] 吴占华，任国玉，徐卫丽，等. 我国北方沙尘天气的气候成因分析[J].干旱区地理，2011，34(3)：429－435.[WU Zhanhua, REN Guoyu, XU Weili, et al. Climatic characteristics and cause analysis of sandstorm in northern China[J]. Arid Land Geography, 2011, 34(3): 429－435.]

[7] 田磊，张武，常倬林，等. 河西走廊干旱区春季沙尘气溶胶对辐射的影响初步研究[J].干旱区地理，2018，41(5)：923－929.[TIAN Lei, ZHANG Wu, CHANG Yulin, et al. Influence of spring dust aerosol on radiation over the arid area in Hexi Corridor[J]. Arid Land Geography, 2018, 41(5): 923－929.]

[8] 李宪之. 现阶段的中国气象教育工作和将来展望[J]. 气象学报，1951，(1)：15－17.[LI Xianzhi. The current work of meteorological education in China and its future prospects[J]. Acta Meteorologica Sinica, 1951, (1): 15－17.]

[9] 陶诗言. 阻塞形势破坏时期的东亚一次寒潮过程[J].气象学报，1957，28(1)：63－74.[TAO Shiyan. A synoptic and aerological study on a cold wave in the Far East during the period of the breakdown of the blocking situation over Euroasia and Atlantic [J]. Acta Meteorologica Sinica, 1957, 28(1): 63－74.]

[10] 余洋. 2016年11月一次强寒潮南下天气特征分析[J]. 气象科技进展，2018，8(4)：22－28.[YU Yang. Analysis of the strong cold wave moving southwards in November 2016[J]. Advance in Met S&T, 2018, 8(4): 22－28.]

[11] 丁一汇，赵南，周江兴，等.《地球流体动力学中波动方程的数值方法》评介[J].气象学报，1999，57(2)：126－128.[DING Yihui, ZHAO Nan, ZHOU Jiangxing, et al. A review of《Numerical Methods for Wave Equations in Earth Fluid Dynamics》[J]. Acta Meteorologica Sinica, 1999, 57(2): 126－128.]

[12] 张培忠，陈光明. 影响中国寒潮冷高压的统计研究[J]. 气象学报，1999，57(4)：493－501.[ZHANG Peizhong, CHEN Guangming. A statistical analysis of the cold wave high which influences on China[J]. Acta Meterologica Sinica, 1999, 57(4): 493－501.]

[13] 王遵娅，丁一汇. 近53年中国寒潮的变化特征及其可能原因[J].大气科学，2006，30(6)：1068－1075.[WANG Zunya, DING Yihui. Climate change of the cold wave frequency of Chi-

na in the last 53 years and the possible reasons[J]. Chinese Journal of Atmospheric Sciences,2006,30(6):1068 – 1075.]

[14] 贾文雄. 近 50 a来祁连山及河西走廊极端气候的时空变化研究[J]. 干旱区地理,2012,35(4):559 – 567.[JIA Wenxiong. Temporal and spatial change of climate extremes in Qilian Mountains and Hexi Corridor during last fifty years[J]. Arid Land Geography,2012,35(4):559 – 567.]

[15] 曹立国,潘少明,贾培宏,等. 1960—2009年河西走廊极端干湿事件的演变特征[J]. 自然资源学报,2014,29(3):480 – 489.[CAO Liguo,PAN Shaoming,JIA Peihong,et al. Temporal and spatial characteristics of the extreme drought and wet events changes in Hexi area from 1960 to 2009[J]. Journal of Natural Resources,2014,29(3):480 – 489.]

[16] 满苏尔·沙比提. 南疆近60 a来寒潮气候特征及其对农业生产的影响[J]. 自然资源学报,2012,27(12):2145 – 2152.[MANSUL Shabiti. Climatic characteristics of cold wave and its impact on agriculture in southern Xinjiang in recent 60 years[J]. Journal of Natural Resources,2012,27(12):2145 – 2152.]

[17] 张克新,刘普幸,张锐,等. 近55年来河西走廊季节开始日及长短变化特征[J]. 地理研究,2011,30(3):547 – 554.[ZHANG Kexin,LIU Puxing,ZHANG Rui,et al. Analysis of change characteristic of beginning dates and average length of four season in Hexi Corridor desert oasis in recent 55 years[J]. Geographical Research,2011,30(3):547 – 554.]

[18] 王亚敏,张勃,戴声佩,等. 河西走廊1960年至2008年潜在蒸发量的时空变化分析[J].资源科学,2010,32(1):139 – 148.[WANG Yamin,ZHANG Bo,DAI Shengpei,et al. Analysis of spatial distributions and temporal trends in potential evaporation over Hexi areas from 1960 to 2008[J]. Resources Science,2010,32(1):139 – 148.]

[19] 刘凤立. 甘肃省河西走廊旅游业发展研究[D]. 兰州:兰州大学,2013.[LIU Fengli. The study on the development of tourism in Hexi region of Gansu Province[D]. Lanzhou:Lanzhou University,2013.]

[20] 刘艳艳,张勃,张耀宗,等. 1960年至2005年河西干旱区的日照时数变化时空特征分析——以黑河中上游地区为例[J]. 资源科学,2009,31(9):1581 – 1586.[LIU Yanyan,ZHANG Bo,ZHANG Yaozong,et al. Analysis of temporal and spatial characteristics of sunshine duration change in Hexi arid region:A case study of Heihe River Valley in the middle region of Hexi Corridor[J]. Resources Science,2009,31(9):1581 – 1586.]

[21] 赵明,王文科,王周锋,等. 半干旱区沙地沙蒿生物量及根系分布特征研究[J]. 干旱区地理,2018,41(4):786 – 792.[ZHAO Ming,WANG Wenke,WANG Zhoufeng,et al. Biomass of *Artemisia ordosica* in sand land and its root system distribution characteristics in the semiarid regions[J]. Arid Land Geography,2018,41(4):786 – 792.]

[22] 钱维宏,张玮玮. 我国近46年来的寒潮时空变化与冬季增暖[J].大气科学,2007,31(6):1266 – 1278.[QIAN Weihong,ZHANG Weiwei. Changes in cold wave events and warm winter in China during the last 46 years[J]. Chinese Journal of Atmospheric Sciences,2007,31(6):1266 – 1278.]

[23] 普发贵. Mann-Kendall检验法在抚仙湖水质趋势分析中的应用[J].环境科学导刊,2014,33(6):83 – 87.[PU Fagui. Application of Mann-Kendall test method on water quality trend analysis in Fuxian Lake[J]. Environmental Science Guide,2014,33(6):83 – 87.]

[24] 符艳红,谢世友,高洁,等. 基于Mann-kendall法的嘉陵江流域降水量时空分布规律[J]. 西南大学学报(自然科学版),2018,40(6):132 – 139.[FU Yanhong,XIE Shiyou,GAO Jie,et al. A Mann-kendall method-based study of the temporal and spatial distribution of precipitation in the Jialing River Basin[J]. Journal of Southwest University(Natural Science),2018,40(6):132 – 139.]

[25] 王希强,陈仁升,刘俊峰,等. 气候变化背景下祁连山区负积温时空变化特征分析[J]. 高原气象,2017,36(5):1267 – 1275.[WANG Xiqiang,CHEN Rensheng,LIU Junfeng,et al. Spatial and temporal variation characteristics of accumulated negative temperature in Qilian Mountains under climate change[J]. Plateau Meteorology,2017,36(5):1267 – 1275.]

[26] 程胡华,焦育忠,段龙飞,等. 山西岢岚地区雷暴气候统计特征及其严重年大气环流背景[J]. 干旱气象,2016,34(4):640 – 647.[CHENG Huhua,JIAO Yuzhong,DUAN Longfei,et al. The statistical characteristics of thunderstorm climate in Shanxi and its severe annual atmospheric circulation background[J]. Journal of Arid Meteorology,2016,34(4):640 – 647.]

[27] 陈颖,贾孜拉·拜山. 新疆冬季气温年际异常的主模态及其成因分析[J]. 干旱区地理,2019,42(2):223 – 231.[CHEN Ying,JIA ZILA·Bai Shan. The main mode of interannual anomaly of winter temperature in Xinjiang and its cause analysis[J]. Arid Land Geography,2019,42(2):223 – 231.]

Frequency and influencing factors of spring cold wave in Hexi Corridor from 1966 to 2018

LYU Qing-song, XIN Cun-lin, WANG Rui, ZHANG Bo, ZHANG Hua

(*College of Geography and Environment Science*, *Northwest Normal University*, *Lanzhou* 730070, *Gansu*, *China*)

Abstract: As an important ecological security zone in western China, Hexi Corridor of Gansu Province is one of the main areas that govern cold waves in China. Our study was based on daily minimum-temperature data from 15 national base stations in the Hexi Corridor for the period 1966 – 2018. (The data from Wutonggou and Jinta base stations were for 1966 – 1988 and 1989 – 2018, respectively; the other 13 stations yielded data for the entire study period.) Using linear regression analysis, spline spatial interpolation, and the Mann-Kendall trend and mutation test to derive frequency-variation characteristics of cold waves and their influencing factors for the Hexi Corridor, we analyzed data for spring (March – May) from the 53 years 1966 – 2018. The results show the following: (1) The frequency of single-station springtime cold waves in Hexi Corridor during 1966 – 2018 had a downward trend (–0.098 times per 10 years); the cold-wave frequency decreased significantly during 1980 – 2010 and further slowed after 2010, when it failed the significance test. The frequency of regional cold waves showed a slow downward trend during the entire study period (– 0.015 times per 10 years) and failed the significance test. (2) In the three springtime months during the study period, the frequency of cold waves for single stations was 0.46 times per year in March, 0.59 times per year in April, and 0.38 times per year in May. Thus, the total number of springtime cold waves for single stations was highest in April and lowest in May; the frequency of cold waves in March decreased significantly (while passing the significance test), whereas the frequencies in April and May did not decrease significantly (failing the significance test). (3) The frequency of springtime cold waves is relatively low in the middle region, between Beida and Heihe Rivers, whereas north of Beida River and east of Heihe River, the cold-waves frequency data show obvious spatial differences. The frequency was high in the corridor's peripheral areas, mostly showing a significant downward trend with a roughly semicircular distribution. Despite an obvious negative correlation between the cold-waves frequency and air-temperature anomalies, the trend of change in the interior area is not obvious. (4) With the significant negative correlation between temperature anomalies and decreasing cold-waves frequency and from the analysis of topographic factors, it is apparent that the springtime cold-waves frequency in Hexi Corridor is mainly affected by climate warming, topography, and atmospheric circulation. We found significant regional differences in cold-waves frequency, and further research could improve the recognition of the process of cold-wave evolution in Hexi Corridor of Gansu Province. This could provide guidance for disaster prevention and mitigation in the corridor and also also help predict the trend of future climate change.

Key words: Hexi Corridor; cold wave; frequency change; influencing factor